

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DE VIGAS DE MADERA REFORZADAS CON FRP DE TEJIDOS UNIDIRECCIONALES Y BIDIRECCIONALES DE FIBRA DE CARBONO

P. de la Rosa (1), A. Cobo (2) y M. N. González (3)

- (1) Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control, E. T. S. E., Universidad Politécnica de Madrid; pilar.delarosa@upm.es. Tf: 687246944
(2) Tecnología de la Edificación; Grupo de Investigación: Patología de Estructuras, Protecciones Colectivas y Medios Auxiliares de Edificación, E.T.S.E., Universidad Politécnica de Madrid; alfonso.cobo@upm.es
(3) Departamento de Construcciones Arquitectónicas y su Control, Grupo de Investigación: Patología de Estructuras, Protecciones Colectivas y Medios Auxiliares de Edificación, E.T.S.E., Universidad Politécnica de Madrid; mariadelasnieves.gonzalez@upm.es

RESUMEN

En este trabajo se realiza un estudio experimental del comportamiento de veinte vigas de madera aserrada de pino silvestre para uso estructural de dimensiones 155x78x1.090mm y reforzadas con materiales compuestos de fibra de carbono. La procedencia de la madera es el aserradero de Valsaín. Los ensayos se han realizado en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Escuela Técnica Superior de Edificación de Madrid, con una máquina de ensayos Universal. El objetivo del trabajo es el análisis del comportamiento a flexión de las piezas ensayadas reforzadas con materiales compuestos de fibra de carbono realizados con tejidos unidireccionales y bidireccionales.

De las veinte vigas ensayadas nueve fueron sin reforzar y el resto se reforzaron disponiendo el material compuesto en forma de "U", adhiriendo el tejido a la cara inferior y los laterales de las vigas, hasta una altura de la mitad del canto. Para la realización de los polímeros reforzados con fibra, o más conocidos como FRP, se han empleado tejidos de fibra de carbono unidireccionales y bidireccionales. El gramaje de los tejidos unidireccionales es de 300gr/m² y se aplicaron en una capa. Los tejidos bidireccionales utilizados tienen dos gramajes distintos, 160gr/m² y 210gr/m². Éstos últimos se aplicaron en una y en dos capas. Las nueve vigas ensayadas sin reforzar sirven como testigo para analizar el aumento de la capacidad de carga de las vigas reforzadas y la variación de los desplazamientos.

A partir de los datos facilitados por el software asociado a la máquina de ensayos se trazaron los gráficos carga-desplazamiento, con el fin de analizar las cargas máximas de rotura y los desplazamientos. De forma analítica se calculan los valores medios de las cargas de rotura y los desplazamientos y se han comparado los resultados de las vigas sin reforzar y las reforzadas con los distintos sistemas.

En las conclusiones se presentan los resultados del análisis realizado, estudiando el incremento de la capacidad de carga de las vigas reforzadas con respecto a las no reforzadas, y comparando entre sí el funcionamiento de los refuerzos aplicados.

Palabras clave: materiales compuestos; pino silvestre; fibra de carbono; tejido bidireccional; flexión; refuerzo.

1 INTRODUCCIÓN

Es interesante el avance en las técnicas de refuerzo de las distintas tipologías de estructuras existentes. Concretamente, en el caso de las estructuras de madera, los refuerzos empleados tradicionalmente han sido el acero [1] y la propia madera. Los materiales

compuestos o FRP aparecen de forma relativamente reciente en la aplicación de refuerzos en estructuras de edificación [2] y obra civil, aplicándose inicialmente en el campo naval y aeronáutico. Con la incorporación de estos materiales se abre una amplia línea de investigación. Existen numerosos estudios relacionados con los refuerzos de elementos de hormigón con FRP [3], sin embargo encontramos escasos trabajos en los que se aplica este tipo de refuerzos a estructuras de madera [4].

Los materiales compuestos tienen unas excelentes propiedades mecánicas en relación a su peso, y éstas están directamente relacionadas con el tipo de fibra empleada y su orientación. Las fibras más empleadas en los trabajos publicados son las de vidrio [5] y las de carbono [6], y la orientación dentro del FRP en casi todos los casos es unidireccional. Existen también trabajos en los que los refuerzos se aplican a cortante [7], aunque la mayoría lo hacen a tracción por la cara inferior [8]. En el presente trabajo se analiza el funcionamiento de los tejidos bidireccionales de fibra de carbono comparándolos con los unidireccionales. Con este tipo de tejido se pretende reforzar los elementos sometidos a flexión tanto a tracción por la cara inferior como a cortante por las caras laterales.

2 MATERIALES Y METODOLOGÍA

El trabajo experimental se ha desarrollado en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la E. T. S. E. En primer lugar se tomaron las vigas de madera procedentes del aserradero de Valsaín, siendo la especie pino silvestre y la calidad cuarta, y se clasificaron según las Norma UNE-54566 de Clasificación visual de madera aserrada de uso estructural (coníferas), con el fin de tener un conocimiento previo de las piezas empleadas. Se midió la humedad mediante secado en estufa eléctrica obteniéndose un valor medio del 19%. La dimensión de las piezas es de 155x78x1.090 y el ensayo a flexión se realiza con un punto de aplicación de la carga a velocidad de 1kN/s, siendo la luz entre apoyos de 1,00m.

Por otro lado, los materiales compuestos se realizan in-situ, de forma simultánea a la realización del refuerzo. Los tejidos empleados son todos de fibra de carbono, y la matriz de resina epoxi. Las variables de los refuerzos aplicados son: la orientación de las fibras (unidireccional y bidireccional), el gramaje de los tejidos (160, 210 y 300g/m²) y el número de capas (1 y 2). En la tabla 1 se resumen los diferentes tipos de refuerzo empleados.

Refuerzo	FC300	FC160#1	FC210#1	FC160#2	FC210#2	FC210#3
Orientación	Unidirec.	Bidirec.	Bidirec.	Bidirec.	Bidirec.	Bidirec.
Gramaje (g/m ²)	300	160	210	160	210	210
Nº Capas	1	1	1	2	2	3

Tabla 1. Tipos y características de los refuerzos aplicados en los refuerzos

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En primer lugar se muestran los gráficos carga-desplazamiento resultantes de los ensayos a flexión de las vigas reforzadas y sin reforzar.

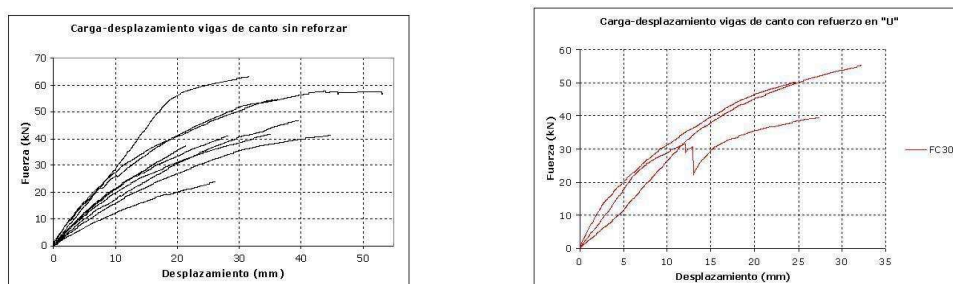


Figura 1. Gráficos carga-desplazamiento de vigas sin reforzar y reforzadas con tejido unidireccional

En la figura 1 se presentan los gráficos carga-desplazamiento de las nueve vigas ensayadas sin reforzar. Se observa una importante variación entre las vigas ensayadas, alcanzando la carga de rotura valores entre 20 y 60kN. Las vigas reforzadas con tejido tipo FC300 rompen con cargas de entre 40kN y 55kN.

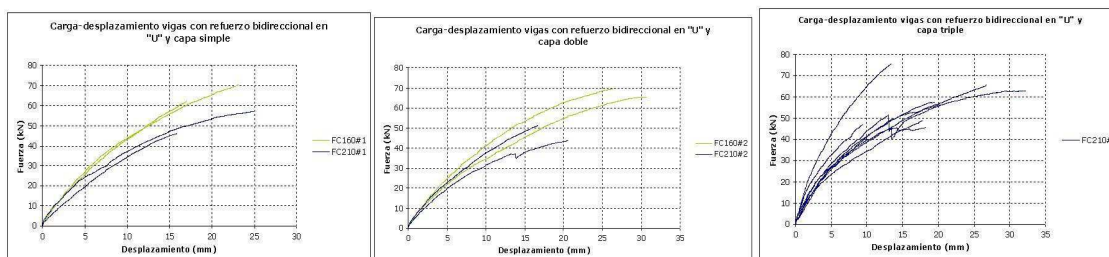


Figura 2. Gráficos carga-desplazamiento de vigas reforzadas con tejido bidireccional

En la figura 2 se muestran los resultados de las vigas reforzadas con tejidos bidireccionales. En el primer y segundo gráfico se observan las reforzadas con una y dos capas respectivamente, de tejido FC160# y FC210#. El tercer gráfico corresponde a las vigas reforzadas con tres capas con FC210#. En este caso, para todos los refuerzos las cargas de rotura se encuentran entre 45kN y 75kN.

A continuación se presentan los valores analíticos de las cargas de rotura medias y desplazamientos medios.

Título	SR	FC300	FC160#1	FC210#1	FC160#2	FC210#2	FC210#3
F (kN)	45,18	48,35	66,27	51,73	67,45	47,54	59,58
ΔF (%)	-	6,64	46,68	14,50	49,29	5,22	31,87
δ (mm)	35,29	28,16	20,16	20,46	28,60	18,71	20,50

Tabla 2. Valores medios de cargas de rotura y desplazamientos

En la tabla 2 se indican los valores medios de las cargas de rotura medias obtenidas para cada tipo de refuerzo. Se ha comprobado que las medias son representativas mediante el análisis de la desviación típica y el coeficiente de variación. Las cargas de rotura mayores corresponden a las vigas reforzadas con tejido bidireccional de 160g/m², tanto en una como en dos capas. De las vigas reforzadas, las que menor valor de carga de rotura alcanzan son las reforzadas con tejido unidireccional FC300 y las reforzadas con tejido bidireccional de 210g/m², tanto en una como en dos capas. En la segunda fila se indican en tanto por ciento los incrementos de la carga de rotura de las vigas reforzadas con respecto a las no reforzadas.

En cuanto a los desplazamientos, se observa, que en todos los casos, son menores los experimentados por las vigas reforzadas que los de las vigas sin reforzar.

Todas las piezas reforzadas suponen un incremento de la carga de rotura sin que suponga un aumento en los desplazamientos en el momento del fallo.

Los tejidos bidireccionales han dado mejores resultados que los unidireccionales, incluso con gramaje inferiores, como es el caso de los FC160#1, que han supuesto un incremento de aproximadamente el 47% con respecto a las no reforzadas, mientras que las reforzadas con tejido FC300 lo han hecho en aproximadamente un 7%.

En cuanto al número de capas, se puede observar que el incremento de la capacidad de carga no ha sido proporcional al aumento de volumen de FRP aplicado en las secciones

reforzadas. En el caso de los refuerzos en una y dos capas, el incremento de carga de rotura ha sido similar, tanto con el tejido tipo FC160#, siendo del 47 y 49% respectivamente, como el FC210#, con un incremento del 14,5 y 5,22% respectivamente. Lo mismo ocurre con los refuerzos realizados en tres capas con FC210#, en los que el aumento de carga de rotura tampoco es proporcional al volumen de FRP aplicado en la sección, siendo dicho incremento del 32% aproximadamente.

4 CONCLUSIONES

Los tejidos bidireccionales dan mejores resultados en cuanto al incremento de la capacidad de carga que los tejidos unidireccionales, produciéndose mayores incrementos con tejidos de menor gramaje.

El incremento de la capacidad de carga de las vigas reforzadas no es proporcional al incremento del número de capas de tejido.

El aumento de la carga de rotura de las vigas reforzadas no supone un aumento de los desplazamientos de las piezas.

Los refuerzos que mayor carga de rotura alcanzan son los realizados con tejido bidireccional de 160g/m², tanto en una como en dos capas.

5 REFERENCIAS

- [1] C. González. Recuperación de la capacidad mecánica en piezas de madera solicitadas a flexión en estructuras tradicionales operando por la cara superior mediante refuerzos y prótesis metálicas. PhD Thesis, Universidad Politécnica de Madrid, Spain, 2007.
- [2] E.J. Biblis. Analysis of wood-fiberglass composite beams within and beyond the elastic region. *Forest Product Journal* 15 (1965) 81-88.
- [3] M. Thériault, B. Benmokrane. *Effects of FRP Reinforcement Ratio and Concrete Strength on Flexural Behavior of Concrete Beams*. *Journal of Composites for Construction* 2 (1) (1998) 7-16.
- [4] P. de la Rosa, A. Cobo, M.N. González. *Bending reinforcement of timber beams with composite carbon fiber and basalt fiber materials*. *Composites: Part B* 55 (2013) 528-536.
- [5] J. Fiorelli, A. Alves. *Analysis of the strength and stiffness of timber beams reinforced with carbon fiber and glass fiber*. *Material research* 6 (2) (2002) 193-202.
- [6] I.E. Belperio. *The performance of glulam beams reinforced with carbon fiber*. *Proceeding of Pacific Timber Engineering Conference, New Zealand*, 2 (1999) 99-106.
- [7] T. Triantafillou. *Shear reinforcement of wood using FRP materials*. *ASCE J Material Civil Engineering* 9(2) (1997) 65-69.
- [8] A. Borri, M. Carrodi, A. Grazini. *A method for flexural reinforced of old wood beams with CFRP materials*. *Composites: Part B* 36 (2005) 143-153.